

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 12 月 9 日 (09.12.2004)

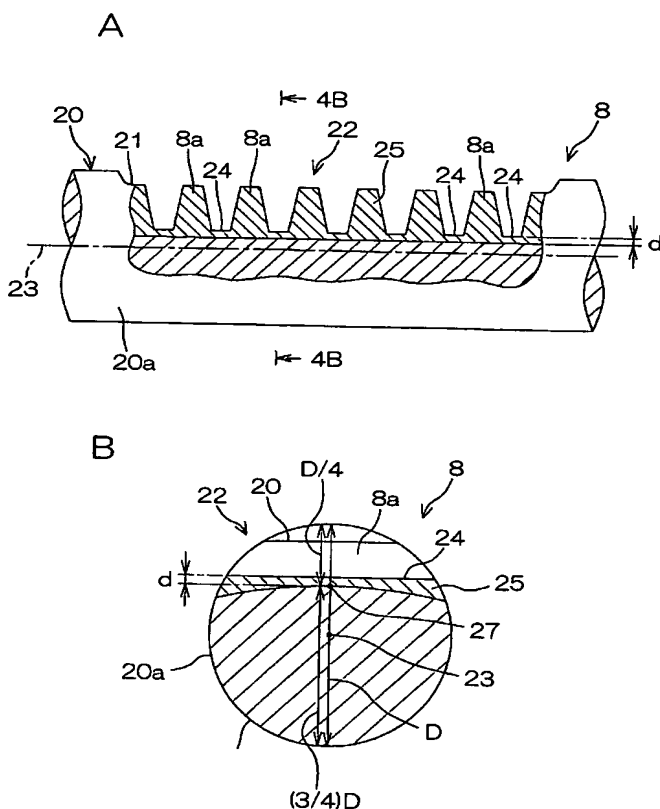
PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/106574 A1

- (51) 国際特許分類⁷: C22C 38/00, 38/14, 38/60, C21D 9/32, B62D 3/12
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/007678
- (22) 国際出願日: 2004 年 5 月 27 日 (27.05.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-148906 2003 年 5 月 27 日 (27.05.2003) JP
特願2003-157029 2003 年 6 月 2 日 (02.06.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 光洋精工株式会社 (KOYO SEIKO CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 太田 敦彦 (OHTA, Atsuhiko) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP). 亀井 亮 (KAMEI, Makoto) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP). 渡邊 和宏 (WATANABE, Kazuhiro) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP). 金池 幸倫 (KANAIKE, Yukinori) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP). 塚本 修 (TSUKAMOTO, Osamu) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP). 池田 正一 (IKEDA, Masachika) [JP/JP]; 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場三丁目 5 番 8 号 光洋精工株式会社内 Osaka (JP).
- [続葉有]

(54) Title: STEEL BAR FOR STEERING RACK, METHOD FOR PRODUCING THE SAME, AND STEERING RACK USING THE SAME

(54) 発明の名称: ステアリングラック用棒鋼、その製造方法、およびそれを用いたステアリングラック



(57) Abstract: A steel bar for a steering rack which comprises, in mass %, 0.50 to 0.60 % of C, 0.05 to 0.5 % of Si, 0.2 to 1.5 % of Mn, 0.0005 to 0.003 % of B, 0.005 to 0.05 % of Ti, 0.0005 to 0.1 % of Al and 0.002 to 0.02 % of N, wherein quenched and tempered structures of the portion located at a depth from the surface of the steel bar of $D/4$, wherein D is the diameter of the steel bar, satisfy the following requirements I), II) and III): I) the area percentage of the sum of tempered bainite and tempered martensite structures is 30 to 100 %, II) the area percentage of a regenerated pearlite structure is 0 to 50 %, and III) the area percentage of the sum of tempered bainite, tempered martensite and regenerated pearlite structures is 50 to 100 %.

(57) 要約: C : 0.50 ~ 0.60 質量%、Si : 0.05 ~ 0.5 質量%、Mn : 0.2 ~ 1.5 質量%、B : 0.0005 ~ 0.003 質量%、Ti : 0.005 ~ 0.05 質量%、Al : 0.0005 ~ 0.1 質量%、及び N : 0.002 ~ 0.02 質量% を含有するステアリングラック用棒鋼を提供する。棒鋼の直径を D として、棒鋼の表面から深さ $D/4$ の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記 I)、II) 及び III) の条件を満たす。I) 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が 30 ~ 100 % である。II) 再生パーライト組織の面積百分率が 0 ~ 50 % である。III) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計の面積百分率が 50 ~ 100 % である。



Masakazu) [JP/JP]; 〒6570863 兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内 Hyogo (JP). 阿南 吾郎 (ANAN, Gorou) [JP/JP]; 〒6570863 兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内 Hyogo (JP). 井戸 尻 弘 (ITOZIRI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒6570863 兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所 神戸製鉄所内 Hyogo (JP).

(74) 代理人: 稲岡 耕作, 外 (INAOKA, Kosaku et al.); 〒5410054 大阪府大阪市中央区南本町2丁目6番12号 サンマリオンNBFタワー21階 あい特許事務所内 Osaka (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,

NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明細書

ステアリングラック用棒鋼、その製造方法、およびそれを用いたステアリングラック

<技術分野>

- 5 本発明は、自動車のステアリングギアに使用するステアリングラック用棒鋼、その製造方法、およびそれを用いたステアリングラックに関するものである。

<背景技術>

- 自動車のステアリングは油圧によってパワーアシストされるタイプ(油圧式パワー
ステアリング)と、電気によってパワーアシストされるタイプ(電動式パワーステア
10 リング)とに分類される。

油圧式パワーステアリングは、従来の主流をなしており、エンジン出力を利用して稼働するオイルポンプから吐出される圧油によって操舵力をアシストするものである。しかし油圧式パワーステアリングでは、エンジン出力の一部を動力源として使用するため、自動車の燃費が低下するという問題があった。

- 15 これに対して、電動式パワーステアリングは、バッテリーからの電気エネルギーで稼働する電動モーターによって操舵力をアシストする。電動パワーステアリング装置は、前記油圧式パワーステアリングと比較すると、自動車の燃費を向上させることができるため、近年その普及が進みつつある。

自動車において、左右方向に延びるステアリングラックには、

- 20 1) 自動車が縁石などに乗り上げて衝撃を受けても破損しない程度の優れた耐衝撃特性、
2) 曲げ応力が作用しても破断しない特性(耐割れ性)、及び
3) ラック歯の耐摩耗性
が要求される。

- 25 このようなステアリングラックには、従来、S 4 5 C 鋼(例えば、特開昭 6 2 - 1 7 8 4 7 2 号公報及び特開昭 6 2 - 1 8 0 0 1 8 号公報参照)、中炭素鋼(例えば、特開 2 0 0 0 - 1 5 3 3 3 6 号公報及び特開 2 0 0 1 - 7 9 6 3 9 号公報参照)などが使用されている。また、高周波焼入によって表面硬化層を形成することによって耐

摩耗性を高めると共に、曲げ応力に対する強度（耐割れ性）をも高めている。

例えば高周波焼入れによってステアリングラックの曲げ強度を高めたとしても、過大な負荷が作用して高周波焼入層で一旦亀裂が発生すると、この亀裂が内部にまで進展し、破断に至るおそれがある。

- 5 さらに近年普及が進んでいる電動式パワーステアリングでは、ステアリングラックとピニオンギアとの接触面圧が油圧式パワーステアリングに比べて高くなる傾向にあり、S 4 5 C鋼では耐摩耗性が不足する。また中炭素鋼において、仮にCを多めに使用して耐摩耗性を高めたとしても、耐衝撃特性が低下する。

- 例えば特開平 1 0 - 8 1 8 9 号公報には、Bを添加して高周波焼入した場合、過大な負荷が作用しても脆性破壊が発生せずに曲げ変形するステアリングラック用鋼が記載されている。このステアリングラック用鋼は、焼入れ焼戻し処理省略鋼であり、組織は実質的にフェライト・パーライトである。
- 10

- 本発明の目的は、耐摩耗性が改善されながらも耐衝撃特性にも優れており、しかも亀裂の進展を防止できるステアリングラック用棒鋼、その製造方法及びそれを用いた
- 15 ステアリングラックを提供することにある。

<発明の開示>

- 本発明者らは、C量を増量してもBを添加すれば耐衝撃特性の低下を防止できること、さらには焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織及び再生パーライト組織を所定の範囲に制御すれば曲げ変形能が高められ、一旦亀裂が発生しても亀裂の
- 20 進展・貫通を防止できることを見出し、本発明を完成した。

- すなわち、本発明は、C : 0. 5 0 ~ 0. 6 0 質量%、Si : 0. 0 5 ~ 0. 5 質量%、Mn : 0. 2 ~ 1. 5 質量%、B : 0. 0 0 0 5 ~ 0. 0 0 3 質量%、Ti : 0. 0 0 5 ~ 0. 0 5 質量%、Al : 0. 0 0 0 5 ~ 0. 1 質量%、及びN : 0. 0 0 2 ~ 0. 0 2 質量%を含有するステアリングラック用棒鋼を提供する。上記のステ
- 25 アリングラック用棒鋼の直径をDとして、棒鋼の表面から深さD / 4の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記 I)、II) 及び III) の条件を満たすように調整されている。

I) 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が30 ~ 1 0 0 %である。

II) 再生パーライト組織の面積百分率が0～50%である。

III) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計の面積百分率が50～100%である。

なお上記ステアリングラック用棒鋼は、さらに、Crを含有してもよい。また、快
5 削性元素 (S、Pb、Bi、Te、Mg、Ca、希土類元素、Zrなど) を含有して
いてもよい。

本発明のステアリングラック用棒鋼は、鋼片を圧延して得られる棒鋼を温度78
0℃以上から焼入れして深さD/4の部分のベイナイト組織及びマルテンサイト組
織を合計で30～100% (面積百分率) とした後、温度660～720℃の雰囲気
10 温度に加熱した炉に入れて20分以下の短時間焼戻し処理を行い、室温まで冷却する
ことにより製造することができる。

<図面の簡単な説明>

図1は本発明のステアリングラック用棒鋼を製造するときの熱処理時の時間と温
度の関係を示すグラフ図である。

15 図2は実験例で用いる試験ディスクの形状を示す概略斜視図である。

図3は本発明の一実施の形態のステアリングラックを含む電動パワーステアリン
グ装置の概略構成を示す模式図である。

図4Aは、ステアリングラックの一部破断側面図であり、図4Bは図4Aの4B-
4B線に沿う断面図である。

20 図5は正入力静的破壊試験の試験装置の概略図である。

図6は逆入力静的破壊試験の試験装置の概略図である。

図7は逆入力衝撃試験の試験装置の概略図である。

図8は曲げ強度試験の試験装置の概略図である。

図9は正入力耐久試験の試験装置の概略図である。

25 図10は逆入力耐久試験の試験装置の概略図である。

図11Aは試験片の概略側面図であり、図11Bは曲げ疲労試験の試験装置の概略
図である。

<発明を実施するための最良の形態>

本発明のステアリングラック用棒鋼は、C：0.50～0.60質量%、Si：0.05～0.5質量%、Mn：0.2～1.5質量%、B：0.0005～0.003質量%、Ti：0.005～0.05質量%、Al：0.0005～0.1質量%、N：0.002～0.02質量%を含有する。また、好ましくは、1.5質量%以下
5 (0質量%を含まず)のCrを含有する。なお残部にFe及び不可避免の不純物が含まれる。

上記成分の限定理由は、以下の通りである。

Cの含有量を0.50質量%以上とするのは、ステアリングラック（例えば、電動式パワーステアリング用のステアリングラック）としたときの耐摩耗性を十分に高めるためである。好ましいCの含有量は、0.52質量%以上である。ただしCの含有
10 量が多過ぎると、ステアリングラックの耐衝撃特性が低下する。そのため、Cの含有量は、0.60質量%以下、好ましくは0.58質量%以下、さらに好ましくは0.56質量%以下にする。

Siの含有量を0.05質量%以上とするのは、鋼材の脱酸を行うためである。好
15 ましいSiの含有量は、0.10質量%以上、特に0.15質量%以上である。ただしSiの含有量が多過ぎると、ラック歯を形成する際の被削性が低下する。そのためSiの含有量は、0.5質量%以下、好ましくは0.35質量%以下、さらに好ましくは0.30質量%以下にする。

Mnの含有量を0.2質量%以上とするのは、鋼材の強度を高めるためだけでなく、
20 焼入れ性を高めてベイナイト組織を導入し易くすることにより、鋼材をステアリングラックに加工したときの曲げ変形能を高めるためである。好ましいMnの含有量は0.5質量%以上、特に0.7質量%以上である。ただしMnの含有量が多過ぎると、高周波焼入れによる硬化層が深くなりすぎ、曲げ変形能が低下する。そのためMnの含有量は、1.5質量%以下、好ましくは1.3質量%以下、さらに好ましくは1.2
25 質量%以下にする。

Bの含有量を0.0005質量%以上とするのは、C量を多くした本発明鋼でも耐
衝撃特性を確保するためである。好ましいBの含有量は、0.0007質量%以上である。ただしBの含有量を多くし過ぎると、有害なB系化合物を生成して耐衝撃特性

が却って低下する。そのためBの含有量は、0.003質量%以下、好ましくは0.0025質量%以下、さらに好ましくは0.0020質量%以下にする。

Tiは鋼中のNと結びついてTiNを形成することによってBNの生成を抑制し、Bによる前記効果を確保するのに有効である。従ってTiの含有量は、0.005質量%以上、好ましくは0.010質量%以上、さらに好ましくは0.012質量%以上である。ただしTiの含有量を多くし過ぎると、ステアリングラックの耐衝撃特性が却って低下する。そのためTiの含有量は、0.05質量%以下、好ましくは0.04質量%以下、さらに好ましくは0.035質量%以下にする。

Al及びNを含有させるのは、AlNを形成させることにより、高周波焼入れ時のオーステナイト粒を微細化することができるためである。Alの含有量は、0.005質量%以上、好ましくは0.010質量%以上、さらに好ましくは0.020質量%以上である。またNの含有量は、0.002質量%以上、好ましくは0.003質量%以上、さらに好ましくは0.004質量%以上である。ただしAl、Nの含有量を多くし過ぎると耐衝撃特性が低下する。そのため、Alの含有量は、0.1質量%以下、好ましくは0.08質量%以下、さらに好ましくは0.05質量%以下にする。Nの含有量は0.02質量%以下、好ましくは0.01質量%以下、さらに好ましくは0.007質量%以下とする。

Crを含有させるのは、焼入れ性を向上させるためである。Crの含有量の下限は特に限定されないが、例えば、0.05質量%程度、好ましくは0.08質量%程度、さらに好ましくは0.10質量%程度である。ただしCrの含有量が多過ぎると、高周波焼入れによる硬化層が深くなり過ぎ、曲げ変形能が不足する。そのためCrの含有量は、例えば、1.5質量%以下、好ましくは1.0質量%以下、さらに好ましくは0.50質量%以下にする。

なお本発明のステアリングラック用棒鋼は、必要により快削性元素(S、Pb、Bi、Te、Mg、Ca、希土類元素、Zrなど)を含有していてもよい。これら快削性元素の量は、例えば、S:0.06質量%以下(0質量%を含まない)、Pb:0.3質量%以下(0質量%を含まない)、Bi:0.2質量%以下(0質量%を含まない)、Te:0.1質量%以下(0質量%を含まない)、Mg:0.01質量%以下(0

質量%を含まない)、Ca: 0.01質量%以下(0質量%を含まない)、希土類元素(REM): 0.01質量%以下(0質量%を含まない)、Zr: 0.3質量%以下(0質量%を含まない)程度である。これら快削性元素は、単独で又は2種以上を組み合わせで添加できる。

- 5 希土類元素としては、Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luを例示することができる。

そして本発明のステアリングラック用棒鋼は、棒鋼の表面から深さ $D/4$ (D は棒鋼の直径を示す)の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記1)、2)及び3)のように調整されている。

- 10 1) 焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計[以下、「TB+TM」と表記する場合がある]が30~100%(面積百分率)
2) 再生パーライト組織が0~50%(面積百分率)
3) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、および再生パーライト組織の合計[以下、「TB+TM+RP」と表記する場合がある]が50~100%(面積百分率)
15 積百分率)

上記棒鋼の表面から深さ $D/4$ の部分以下を単に $D/4$ 部ともいう。

以下、これらの組織制御を行う理由について説明する。

- 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織は、圧延後の棒鋼を焼入れ・焼戻しすることによって導入される組織であり、ステアリングラックとしたときに高周
20 波焼入れ層で発生した亀裂の進展・貫通を防止するのに有効である。

- すなわちステアリングラックは高周波焼入れ部(表層部)が極めて硬いために大きな曲げを施すと、ステアリング歯の根元付近(通常、 $D/4$ 部付近)の高周波焼入れ層に割れが発生しやすいものの、高周波焼入れ部と高周波焼入れされなかった部分との境界に焼戻しベイナイト組織や焼戻しマルテンサイト組織が残存していれば、高周
25 波焼入れ層で発生した亀裂が内部に進展するのを防止でき、ステアリングラック自体の割れを防止できる。そのため $D/4$ 部分のベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計(TB+TM)を30%以上とした。好ましくは40%以上であり、さらに好ましくは50%以上である。

再生パーライト組織は、焼戻し工程で導入される組織であり、圧延まま鋼のパーライト組織とは区別されるパーライト組織である。再生パーライト組織は、前記焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織とは異なって亀裂の進展・貫通を防止するのに役立たないばかりか、再生パーライト組織ばかりが多くなると、むしろ曲げ

5 変形能が低下する。従って再生パーライト組織は50%以下とする。好ましくは40%以下、さらに好ましくは30%以下である。また再生パーライト組織が少なくなると、耐衝撃特性がさらによくなる傾向もある。

また焼入れ・焼戻しによって焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織を導入しても、圧延まま材からのフェライト・パーライト組織や軟質なフェライト組

10 織が残っていると、やはり亀裂の進展・貫通を防止できない。

したがって、これら圧延まま材からの組織は低減する必要がある、換言すれば焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織を多くする必要がある。これら焼入れ・焼戻し工程によって導入される3組織の合計(TB+TM+RP)は、50%以上、好ましくは60%以上、さらに好ましくは70%以上である。

15 本発明のステアリングラック用棒鋼の直径は特に限定されないが、ステアリングラックに加工することを考慮すると、通常、10~40mm程度、好ましくは15~38mm程度、さらに好ましくは20~36mm程度である。

上記の様なステアリングラック用棒鋼は、例えば、上記成分組成の鋼片を圧延し、得られる棒鋼を焼入れしてベイナイト組織及びマルテンサイト組織を導入した後、高

20 温・短時間の焼戻し処理を行うことによって製造できる。

このような製造方法において焼入れの加熱温度は、780℃以上、好ましくは800℃以上とする。焼入れの加熱温度が低すぎると、焼戻し後のTB+TM+RPが小さくなる傾向がある。また柔らかいフェライト層を生成してしまい、ステアリングラックの強度が不足する。加熱温度の上限は、例えば、860℃程度、好ましくは85

25 0℃程度である。加熱温度が高すぎると焼入れ時に棒鋼の曲がりが大きくなる傾向がある。

焼入れの冷却条件は、該焼入れによって導入される上記のD/4部でのベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計が30%（面積百分率）以上、好ましくは40%

(面積百分率) 以上、さらに好ましくは50% (面積百分率) 以上になるように行う必要がある。このような制御冷却の条件は、鋼の組成などに応じて適宜設定できるが、例えば、温度800~300°C (好ましくは750~350°C) 程度の領域を、冷却速度30~80°C/秒 (好ましくは40~70°C/秒) で冷却するのが好ましい。

このようにして得られたベイナイト組織やマルテンサイト組織が導入された中間体は、図1を参照して、昇温過程を含めて20分以下、好ましくは15分以下の処理時間tで焼戻し処理を実施し、室温まで空冷する。焼戻し処理に使用する炉の雰囲気温度T2は660~720°C程度、好ましくは680~700°C程度とされる。

- 10 炉の雰囲気温度T2を660°C以上とすれば、20分以下の短時間の焼戻しであっても、焼戻しされたときのビッカース硬さを低減でき (例えば320HV以下にすることができ)、後にステアリングラックのラック歯を加工するときの切削加工性を高めることができる。なお、炉の雰囲気温度T2は好ましくは680~700°Cである。
- 15 上記のD/4部27で、焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が30~100%であって、再生パーライト組織が面積百分率で0~50%であり、且つ焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織および再生パーライト組織の合計の面積百分率が50~100%となるように、焼き戻後の組織を制御するためには、上記の焼戻し条件 (660°C以上、20分以内) の範囲内で、焼
- 20 戻し温度が高過ぎたり焼戻し時間が長過ぎたりしないことが好ましい。

焼戻し温度が高過ぎたり焼戻し時間が長過ぎたりすると、制御冷却によって導入したベイナイト組織およびマルテンサイト組織の面積百分率が低減し易くなり、かつパーライト組織が再生し易くなり、曲げ特性が低下してしまうからである。

- このようにして得られた本発明のステアリングラック用棒鋼は、耐摩耗性が改善さ
- 25 れながらも耐衝撃特性にも優れており、しかも曲げ変形能にも優れているため、ステアリングラック (特に電動式パワーステアリング用のステアリングラック) に極めて有用である。

実験例1~36

下記の表 1～2 に示す成分の鋼材を溶製し、直径 30 mm の棒鋼に圧延した。次いで表 1～2 に示す温度に加熱した後、室温まで制御冷却することによって焼入れした。なお該制御冷却では、水量や水冷時間を変えて棒鋼の組織を制御した。冷却した棒鋼は、表 1～2 に示す雰囲気温度に加熱した炉に表 1～2 に示す時間滞留させることによって焼戻した。焼戻し後の棒鋼は放冷した。

焼入れ後の棒鋼の $D/4$ 部の組織、及び焼戻し後の棒鋼の $D/4$ 部の組織を電子顕微鏡で観察し（倍率 5000 倍）、マルテンサイト組織及びベイナイト組織、並びに焼戻しマルテンサイト組織、焼戻しベイナイト組織、及び再生パーライト組織の面積率を求めた。

10 実験例 1～19 は、成分および組織の双方が適切であって本発明の技術的範囲に含まれ、実験例 20～36 は、成分および組織の少なくとも一方が不適切であって本発明の技術的範囲から外れる。

また焼戻し後の棒鋼をステアリングラックにしたときの耐割れ性（曲げ変形能）、耐衝撃特性、耐摩耗特性を調べるため、以下の試験を行った。

15 曲げ試験

焼戻し後の棒鋼を引抜き加工して直径 27.5 mm にした後、切削してラック歯を形成した。ラック歯の深さは約 $D/4$ 程度である。次いで下記の条件で歯部を高周波焼入れすることによってステアリングラックを調製した。

高周波焼入れ条件

20 使用コイル：面焼入れ用（直径 40 mm、厚さ 2 mm）

電圧：4.0 kV

電流：4.5 A

周波数：40 kHz

加熱方式：移動焼入れ（移動速度 3.0 mm/秒）

25 冷却：ソリュブル油と水との混合溶媒

得られたステアリングラックを用い、支点間距離を 400 mm、押圧箇所をステアリングラックの歯の反対側とする 3 点曲げ試験を行い、下記基準に従って評価した。

×：高周波焼入れ層で発生した亀裂が内部にまで進展・貫通し、ステアリングラック

が2つに破断した

○：亀裂が途中で止まり、破断に至らなかった

衝撃試験

- 焼戻し後の棒鋼を引抜き加工して直径27.5 mmにした後、D/4部からJIS
- 5 3号Uノッチ試験片を切り出し、ノッチ形成側の表層を高周波焼入れした。高周波焼入条件は、移動速度を3.5 mm/秒とする以外は、前記曲げ試験の場合と同じとした。得られた試験片をJIS-Z2242に従ってシャルピー衝撃試験（試験温度：室温）を行い、衝撃値を求めた。

摩耗試験

- 10 実験例で得られた焼戻し棒鋼と同じ特徴を有する円板を調製した。すなわち実験例の棒鋼と同じ成分の鋼材を溶製し、熱間鍛造によって直径53 mmに鍛伸し、厚さ15 mmの円板に切断した後、各実験例と同様の条件で焼入れ、焼戻しを行った。

- 次いで図2に示すような2段形状の半円板（上段の直径44 mm、上段の厚さ3 mm；下段の直径50 mm、下段の厚さ5 mm）に機械加工し、上段部の表層を高周波
- 15 焼入れした。高周波焼入条件は、移動速度を2.5 mm/秒とする以外は、前記曲げ試験の場合と同じとした。得られた試験ディスクに対してピンオンディスク摩耗試験を行い、試験片の摩耗減量を測定した。なお摩耗試験の詳細条件は、下記の通りである。

潤滑：乾式

- 20 試験片表面粗さ：Ra 0.25 μm

周速：0.05 m/秒

面圧：0.05 GPa

ピン：S U J 2 [直径5 mm、ロックウェル硬さ（HRC）64]

結果を表1～2に示す。

表1

実験例	鋼材組成(単位=質量%;残部はFe及び不可避免的不純物)							焼入れ工程			焼戻し工程					曲げ試験	衝撃値 (J/cm ²)	摩耗 減量 (mg)
	C	Si	Mn	B	Ti	Cr	Al	N	加熱 温度 (°C)	組織 [B+M] (面積%)	炉 温度 (°C)	滞留 時間 (分)	組織 [TB+TM] (面積%)	組織 [RP] (面積%)	組織 [TB+TM+RP] (面積%)			
1	0.52	0.20	0.83	0.0016	0.021	—	0.041	0.0040	810	90	690	10	90	0	90	○	56	10
2	0.56	0.18	0.89	0.0014	0.022	—	0.040	0.0042	810	90	690	10	90	0	90	○	51	6
3	0.53	0.19	1.06	0.0012	0.023	—	0.048	0.0049	820	90	690	10	90	0	90	○	52	8
4	0.54	0.22	0.72	0.0017	0.020	—	0.040	0.0044	820	90	690	10	90	0	90	○	54	7
5	0.54	0.24	0.88	0.0008	0.022	—	0.041	0.0042	820	90	690	10	90	0	90	○	51	7
6	0.53	0.24	0.76	0.0018	0.022	—	0.045	0.0044	830	90	690	10	90	0	90	○	52	6
7	0.54	0.20	0.75	0.0010	0.015	—	0.048	0.0047	820	90	690	10	90	0	90	○	53	7
8	0.53	0.22	0.82	0.0014	0.023	—	0.040	0.0041	820	90	690	10	90	0	90	○	53	6
9	0.54	0.23	0.83	0.0011	0.022	0.13	0.050	0.0041	830	90	690	10	90	0	90	○	53	7
10	0.54	0.24	0.82	0.0016	0.020	0.21	0.048	0.0046	820	90	690	10	90	0	90	○	54	8
11	0.53	0.24	0.86	0.0013	0.021	—	0.049	0.0041	820	90	690	10	90	0	90	○	52	9
12	0.54	0.21	0.75	0.0014	0.022	—	0.042	0.0049	830	80	690	10	80	0	80	○	51	8
13	0.53	0.23	0.73	0.0012	0.022	—	0.048	0.0043	830	70	690	10	70	0	70	○	51	8
14	0.53	0.24	0.74	0.0013	0.021	—	0.046	0.0045	820	60	690	10	60	0	60	○	52	8
15	0.53	0.20	0.83	0.0011	0.021	—	0.047	0.0044	810	90	690	10	90	0	90	○	53	7
16	0.54	0.23	0.84	0.0012	0.021	—	0.040	0.0041	820	90	690	5	90	0	90	○	52	8
17	0.55	0.24	0.86	0.0013	0.022	—	0.048	0.0047	820	90	720	10	70	20	90	○	50	7
18	0.54	0.21	0.86	0.0010	0.022	—	0.047	0.0049	840	90	690	10	90	0	90	○	53	7
19	0.53	0.22	0.77	0.0013	0.022	—	0.040	0.0044	820	90	690	10	90	0	90	○	51	8

[B+M]はベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計を、[TB+TM]は焼戻ベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計を、[RP]は再生パーライト組織を示す。

[TB+TM+RP]は焼戻ベイナイト組織、焼戻マルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計を示す。

表2

実験例	鋼材組成(単位＝質量％、残部はFe及び不可避免の不純物)								焼入れ工程			焼戻し工程					曲げ試験	衝撃値 (J/cm ²)	摩耗減量 (mg)
	C	Si	Mn	B	Ti	Cr	Al	N	加熱温度 (°C)	組織 [B+M] (面積％)	炉温度 (°C)	滞留時間 (分)	組織 [TB+TM] (面積％)	組織 [RP] (面積％)	組織 [TB+TM+RP] (面積％)				
20	0.46	0.23	0.82	0.0017	0.022	—	0.042	0.0043	820	90	690	10	90	0	90	○	61	62	
21	0.64	0.22	0.76	0.0011	0.021	—	0.044	0.0041	830	90	690	10	90	0	90	○	16	5	
22	0.55	0.21	0.12	0.0015	0.022	—	0.045	0.0043	810	10	690	10	10	0	10	×	51	7	
23	0.53	0.24	1.60	0.0017	0.020	—	0.050	0.0045	830	90	690	10	90	0	90	×	53	9	
24	0.53	0.21	0.82	0.0002	0.023	—	0.046	0.0048	830	90	690	10	90	0	90	○	23	8	
25	0.54	0.21	0.82	0.0054	0.021	—	0.050	0.0048	830	90	690	10	90	0	90	○	14	7	
26	0.54	0.23	0.79	0.0014	0.002	—	0.049	0.0047	840	90	690	10	90	0	90	○	26	7	
27	0.55	0.22	0.88	0.0013	0.113	—	0.041	0.0045	810	90	690	10	90	0	90	○	24	5	
28	0.54	0.22	0.85	0.0014	0.022	1.64	0.044	0.0042	830	90	690	10	90	0	90	×	52	8	
29	0.54	0.21	0.86	0.0013	0.021	—	0.050	0.0045	820	20	690	10	20	0	20	×	51	0	
30	0.53	0.22	0.83	0.0014	0.024	—	0.043	0.0041	810	20	730	10	10	40	50	×	18	9	
31	0.55	0.23	0.80	0.0012	0.023	—	0.043	0.0048	—	0	—	—	0	0	0	×	21	6	
32	0.53	0.22	0.79	0.0014	0.020	—	0.044	0.0041	840	90	750	5	30	60	90	×	10	9	
33	0.54	0.22	0.78	0.0014	0.023	—	0.041	0.0042	830	90	750	10	10	70	80	×	15	8	
34	0.53	0.23	0.79	0.0012	0.022	—	0.042	0.0043	830	90	740	30	10	60	70	×	17	7	
35	0.53	0.21	0.74	0.0013	0.022	—	0.042	0.0049	760	40	690	10	40	0	40	×	52	8	
36	0.54	0.20	0.74	0.0014	0.022	—	0.045	0.0045	750	30	690	10	30	0	30	×	51	8	

[B+M]はベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計を、[TB+TM]は焼戻ベイナイト組織及びマルテンサイト組織の合計を、[RP]は再生パーライト組織を示す。

[TB+TM+RP]は焼戻ベイナイト組織、焼戻マルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計を示す。

表2のうち実験例20～28は成分設計が不適切な例である。すなわち実験例20ではC量が不足しているため、耐摩耗性が不十分である。実験例21は逆にC量が多いため耐衝撃特性が不十分である。

実験例22ではMn量が少なく焼入性に劣る為、焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計量が不足しており、曲げ変形能が不十分である。

実験例23はMn量が過剰となっているため、高周波焼入れの際に硬化層が深くなってしまい、曲げ変形能が不十分となる。

実験例24～27では、B又はTi量が不適切であるために耐衝撃性が不十分である。

10 実験例28はCr量が過剰であるため、高周波焼入れの際に硬化層が深くなってしまい、曲げ変形能が不十分となる。

また実験例29～36から明らかなように、成分設計が適切であっても、組織が不適切であると諸特性が不十分となる。すなわち実験例29～31では焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計量が不足しており、曲げ変形能が不十分となる。

実験例32～34では再生パーライト組織が多すぎるため、曲げ変形能が不十分となる。実験例35～36では、焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計量が不足しているため、曲げ変形能が不十分となる。

これらに対して実験例1～19は、成分設計及び組織の両方が適切であるため、耐
20 衝撃特性及び耐摩耗性の両方に優れており、しかも亀裂の進展・貫通を防止できる。

本発明のステアリングラック用棒鋼によれば、成分及び組織の両方が適切に制御されているため、耐摩耗性が改善されながらも耐衝撃特性にも優れており、しかも亀裂の進展・貫通を防止することができる。

次いで、図3は上述した本発明のステアリングラック用棒鋼を用いたステアリング
25 ラックを含む電動パワーステアリング装置の概略構成を示す模式図である。

図3を参照して、電動パワーステアリング装置（EPS：Electric Power Steering System）1は、ステアリングホイールのような操舵部材2に連結しているステアリングシャフト3と、ステアリングシャフト3に自在継手4を介して連結される中間軸

5 と、中間軸 5 に自在継手 6 を介して連結されるピニオン軸 7 と、ピニオン軸 7 の先端部に設けられたピニオン 7 a に噛み合うラック歯 8 a を有して自動車の左右方向に延びる転舵軸としてのステアリングラック 8 とを備える。

ステアリングラック 8 は車体に固定されるハウジング 17 内に図示しない複数の
5 軸受を介して直線往復動自在に支持されている。ステアリングラック 8 の一対の端部はハウジング 17 の両側へ突出し、各端部にはそれぞれタイロッド 9 が結合されている。各タイロッド 9 は対応するナックルアーム（図示せず）を介して対応する操向用の車輪 10 に連結されている。

操舵部材 2 が操作されてステアリングシャフト 3 が回転されると、この回転がピニ
10 オン 7 a およびラック歯 8 a によって、自動車の左右方向に沿ってのステアリングラック 8 の直線運動に変換される。これにより、操向用の車輪 10 の転舵が達成される。

ステアリングシャフト 3 は、操舵部材 2 に連なる入力軸 3 a と、ピニオン軸 7 に連なる出力軸 3 b とに分割されており、これら入、出力軸 3 a, 3 b はトーションバー 11 を介して同一の軸線上で相対回転可能に互いに連結されている。

15 トーションバー 11 を介する入、出力軸 3 a, 3 b 間の相対回転変位置により操舵トルクを検出するトルクセンサ 12 が設けられており、このトルクセンサ 12 のトルク検出結果は、E C U (Electric Control Unit : 電子制御ユニット) 13 に与えられる。E C U 13 では、トルク検出結果や図示しない車速センサから与えられる車速検出結果等に基づいて、駆動回路 14 を介して操舵補助用の電動モータ 15 の駆動を
20 制御する。

電動モータ 15 の出力回転が減速機構 16 を介して減速されて、出力軸 3 b、中間軸 5 を介してピニオン軸 7 に伝達され、ステアリングラック 8 の直線運動に変換されて、操舵が補助される。

減速機構としては、電動モータ 15 の図示しない回転軸に一体回転可能に連結される
25 ウォーム軸等の小歯車 16 a と、この小歯車 16 a に噛み合うと共に出力軸 16 b に一体回転可能に連結されるウォームホイール等の大歯車 16 b とを備えるギヤ機構を例示することができる。

図 4 A はステアリングラック 8 の部分断面側面図であり、図 4 B は図 4 A の 4 B -

4 B線に沿う断面図である。ステアリングラック 8 は、直径 D の丸棒状の本体 20 と、この本体 20 の周面 20 a の一部に設けられた平坦部 21 と、この平坦部 21 に設けられラック歯形成部 22 とを備える。

平坦部 21 は、本体 20 の軸線 23 に平行に所定長さで延び所定幅を有している。

- 5 ラック歯形成部 22 は、複数設けられる上記のラック歯 8 a と、隣接するラック歯 8 a 間に設けられる歯底部 24 とを含む。

ステアリングラック 8 は上述した本発明のステアリングラック用棒鋼を用いて形成される。すなわち、ステアリングラック 8 に用いられるステアリングラック用棒鋼は、C : 0.50 ~ 0.60 質量%、Si : 0.05 ~ 0.5 質量%、Mn : 0.2
10 ~ 1.5 質量%、B : 0.0005 ~ 0.003 質量%、Ti : 0.005 ~ 0.05 質量%、Al : 0.0005 ~ 0.1 質量%、及び N : 0.002 ~ 0.02 質量%を含有する。

また、棒鋼の直径を D として、棒鋼の表面から深さ $D/4$ の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記 I)、II) 及び III) の条件を満たす。

- 15 I) 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が 30 ~ 100% である。

II) 再生パーライト組織の面積百分率が 0 ~ 50% である。

III) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計の面積百分率が 50 ~ 100% である。

- 20 ステアリングラック 8 を形成するための上記のステアリングラック用棒鋼において、好ましくは、1.5 質量%以下 (0 質量%を含まず) の Cr が含有される。

また、ステアリングラック 8 を形成するためのステアリングラック用棒鋼には、さらに S : 0.06 質量%以下 (0 質量%を含まない)、Pb : 0.3 質量%以下 (0 質量%を含まない)、Bi : 0.2 質量%以下 (0 質量%を含まない)、Te : 0.1
25 質量%以下 (0 質量%を含まない)、Mg : 0.01 質量%以下 (0%を含まない)、Ca : 0.01 質量%以下 (0 質量%を含まない)、希土類元素 : 0.01 質量%以下 (0 質量%を含まない)、Zr : 0.3 質量%以下 (0 質量%を含まない) から選択される少なくとも一種が含有される。

上記のように、ステアリングラック 8 を形成する鋼の炭素含有量は 0.50~0.60 質量%である。炭素含有量を 0.50 質量%とするのは、鋼材に後述する高周波焼入れを施すことにより、ラック歯 8 a の耐摩耗性を高めるためである。ただし、炭素含有量が 0.60 質量%を超えると、ステアリングラック 8 の耐衝撃特性が低下し、
5 また、高周波熱処理時に焼割れを生じ易くなる。そのために、炭素含有量は、0.60 質量%以下、好ましくは 0.58 質量%以下、さらに好ましくは 0.58 質量%以下にする。

また、ステアリングラック 8 を形成する鋼には、B が 5~30 ppm 含有されている。5 ppm 以上の B の添加により高周波焼入れされた部分の粒界を強化し、靱性を
10 増加させて曲げ変形能（耐割れ性）を格段に向上させることができる一方、30 ppm を超える B を含有させても、その効果が飽和するので、5~30 ppm の範囲に設定されることが好ましい。

ステアリングラック 8 の少なくともラック歯形成部 22 には、ラック歯 8 a 形成後に施された高周波焼入れおよび焼戻しによって硬化層 25 が設けられている。ラック歯
15 形成部 22 の表面硬さがピッカース硬さで 680~800 HV に設定されている。

680 HV 未満であると、ラック歯形成部 22 の表面硬さが十分でなくなり、曲げ疲労に対する疲労限界が低くなる一方、800 HV を超えると、表層部の靱性が低下し、静的負荷あるいは準静的負荷に対する曲げ強度が不足するからである。

そこで、ラック歯形成部の表面硬さを 680~800 HV とすることで、曲げ疲労
20 に対する疲労限界を高くすると共に静的又は準静的負荷に対する十分な曲げ強度を確保するようにした。

また、ラック歯形成部 22 において、ラック歯 8 a 間の歯底部 24 での硬化層 25 の有効硬化層深さ d は、歯底部 24 の表面から 0.1~1.5 mm の範囲にあることが好ましい。ここで、硬化層 25 の有効硬化層深さ d は、表面から 450 HV の硬さ
25 の位置までの距離で定義され、有効硬化層深さに相当する。

歯底部 24 における硬化層 25 の有効硬化層深さ d が 1.5 mm を超える場合には、高い衝撃を受けたときに、ステアリングラック 8 の長手方向の中間部の 1 箇所局所的に屈曲して山形状に曲がる傾向にあり、その結果、ステアリングラック 8 上をピニ

オン7 aが移動できなくなるおそれがある。一方、硬化層25の有効硬化層深さdが0.1mm未満では、ラック歯8 aの歯元付近の曲げ強度が不足するおそれがある。

そこで、歯底部24での硬化層25の有効硬化層深さdを0.1~1.5mmの範囲とすることで、ラック歯8 aの歯元曲げ強度を確保しつつ大荷重負荷時にステアリングラック8全体が緩やかに曲がるようにし、非常時のステアリング性能を確保するようにしている。歯底部24での硬化層25の有効硬化層深さdは、より好ましくは0.3~1.2mmである。

通例、ラック歯8 aはD/4程度の深さに歯底部が位置するように形成されている。したがって、本体21の周面20 aにおいて、ラック歯形成部22と径方向に対向する部分26の表面からの深さが(3/4)Dの部分27〔(3/4)D部27ともいう〕は、焼入れされた部分と焼入れされなかった部分との概ね境界にあたる。

上記(3/4)D部27では、焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が30~100%であって、再生パーライト組織が面積百分率で0~50%であり、且つ焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織および再生パーライト組織の合計の面積百分率が50~100%であるように設定されている。これは、ステアリングラック8の切断面の電子顕微鏡写真により観察することができる。

万一、大荷重を受けたラックバーが過大な曲げ変形を生じてその一部にクラックが生じたとしても、上記の(3/4)D部に少なくとも30%の面積百分率で残存している焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織がクラックの伝搬を防止することで、ラックバーが割れて2分割するような破損を防止することができる。また、上記の(3/4)D部で再生パーライト組織の面積百分率を50%以下とするのは、靱性を低下させないためである。

また、上記歯底部24の表面から0.1mm深さまで残留フェライトが発生していないことが好ましい。残留フェライトが発生していると、局部的に強度を低下させるおそれがあるので、これを排除するためである。

次いで、本ステアリングラック8の製造方法について説明する。前述した成分組成および組織(例えば実験例1~19の成分組成および組織)を有する本発明のステア

リングラック用棒鋼の周面の一部にフライス加工を施すことにより、平坦部 2 1 を形成し、この平坦部 2 1 にブローチ加工を施すことにより、複数のラック歯 8 a を含むラック歯形成部 2 2 を形成する。次いで、ラック歯形成部 2 2 に、例えば加熱時間 5 . 5 秒、水冷による冷却時間 1 0 秒の高周波焼入れを施した後、例えば 1 7 0 ° C で 1 . 5 時間の条件で焼戻し処理を実施し、ラック歯形成部 2 2 の表面でビッカース硬さで 6 8 0 ~ 8 0 0 HV を達成し、ステアリングラック 8 を形成する。

このようにして得られステアリングラック 8 では、上記した如く、ラック歯 8 a として必要な耐摩耗性と必要な曲げ強度を確保することができる。また、(3 / 4) D 部 2 7 に残存する焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織がクラックの内部への伝搬を防止することで、ステアリングラック 8 が 2 分割して割れるような破損を防止することができる。

しかも、歯底部 2 4 の硬化層 2 5 の有効硬化層深さ d を歯底部 2 4 の表面から 0 . 1 ~ 1 . 5 mm とすることで、歯元曲げ強度を確保しつつ大荷重負荷時にステアリングラック 8 全体が緩やかに曲がるようにし、非常時のステアリング性能を確保することが可能となる。有効硬化層深さ d は歯底部 2 4 の表面から好ましくは 0 . 3 ~ 1 . 2 mm である。

以下、実施例を挙げて本発明のステアリングラックをより具体的に説明する。

実施例

20 C 含有量 0 . 5 3 質量 %、S i 含有量 0 . 2 3 質量 %、M n 含有量 0 . 8 質量 %、S 含有量 0 . 0 1 8 質量 %、C r 含有量 0 . 3 0 %、B 含有量 0 . 0 1 5 % である鋼材を用いて、圧延によって直径 3 0 mm の棒鋼にした後、加熱温度 7 8 0 ° C に加熱し、次いで室温まで制御冷却した。冷却した棒鋼は、雰囲気温度 6 6 0 ° C に加熱した炉に 1 5 分滞留させることによって焼戻しした。焼戻し後の棒鋼は放冷した。より
25 好ましくは、上記加熱温度は 8 2 0 ° C であり、焼戻し時の雰囲気温度は 6 9 0 ° C である。

このようにして得られた棒鋼を引抜き加工して直径 2 7 . 5 mm にした後、切削加工により平坦部 2 1 を形成し、該平坦部 2 1 にラック歯 8 a を形成してラック歯形成

部22とした。次いで、ラック歯形成部22に加熱時間5.5秒、水冷による冷却時間10秒の高周波焼入れを施した後、170°Cで1.5時間の条件で焼戻し処理を実施し、ラック歯形成部22に硬化層25を設けて、実施例のラックバーを製造した。

実施例では、ラック歯形成部22の表面硬さが710HVである。ラック歯形成部22の背面部26の表面からの深さ(3/4)D部27で、焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が90%であって且つ再生パーライト組織が面積百分率で0%である。ラック歯形成部22の歯底部24の硬化層25の有効深さdが歯底部24の表面から0.7mmである。

10 比較例

C含有量0.46質量%、Si含有量0.19質量%、Mn含有量0.86質量%、S含有量0.053質量%、Cr含有量0.13質量%であって、Bを含有しない鋼材を用いて、圧延によって棒鋼に形成した後、加熱温度850°Cに加熱し、次いで室温まで冷却した。冷却した棒鋼は、雰囲気温度610°Cに加熱した炉に30分以上滞留させることによって焼戻した。焼戻し後の棒鋼は放冷した。このようにして得られた棒鋼を用い、以後は実施例と同様にして、比較例のステアリングラックを製造した。

比較例では、ラック歯形成部に通常の高周波焼入れ、焼戻しが施される。ラック歯の表面硬さが650HVである。(3/4)D部で焼戻しベイナイト組織と焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が70%であって且つ再生パーライト組織が面積百分率で20%である。歯底部の硬化層の有効深さが歯底部の表面から0.3mmである。

これら実施例および比較例を各々2個用いて以下の試験を実施した。

25 正入力静的破壊試験

図5に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端をそれぞれ固定支柱31に固定した。中立位置にてステアリングラック8を固定し、ピニオン

軸7に連結したロータリーアクチュエータ32からピニオン軸7に駆動トルクを与えた。駆動トルクを増大させていき、破壊に至らせた。

ステアリングラックに亀裂が発生するときの荷重は実施例が305Jであるのに対して、比較例が188Jであり、実施例の破壊強度が比較例の破壊強度と比較して、
5 約62%増であることが判明した。

逆入力静的破壊試験

図6に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端をそれぞれ固定支柱31にマウントラバー33を介して固定した。ピニオン軸7をジョイント34を介して中立位置に固定し、ステアリングラック8の端部を負荷シリンダ35によりロードセル36を介して押し、亀裂発生音を確認するまで荷重を負荷した。ロードセル36に接続された動歪み計37の出力をレコーダ38に記録した。

その結果、実施例の亀裂発生荷重が平均で92N・mであるのに対して、比較例の亀裂発生荷重が平均で51N・mであり、実施例の破壊強度が比較例の破壊強度と比較して、約80%増であることが判明した。

逆入力衝撃破壊試験

図7に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端を固定支柱39に固定された一对の固定アーム40に固定した。ハウジング17はピニオン軸7に近い側の端部が上になるように立てて配置する。ピニオン軸7は中立位置で固定支柱41に固定する。ピニオン軸7に近い側のステアリングラック8の端部に受け部材42を固定した。

25 受け部材42の上方には、ガイドバー43により上下動自在に支持された重錘44が設けられ、この重錘44の下部にはロードセル45が固定されている。ロードセル45を固定した重錘44の重さは100Kgであり、ロードセル45と受け部材42との距離を20cmとして、重錘44およびロードセル45を落下させて受け部材4

2に衝突させ、破損に至るまでの落下回数を調べた。

ロードセル45に動歪み計46を接続し、動歪み計46の出力を電磁オシロスコープ47に記録した。

試験の結果、比較例が平均で3回で破壊に至ったのに対して、実施例は平均で15
5 回で破壊に至った。実施例の逆入力衝撃強度が比較例よりも格段に優れていることが実証された。

曲げ強度試験

図8に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例
10 のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端をそれぞれ固定支柱48に固定した。ステアリングラック8をピニオン軸に近い側のハウジング17の端部から最大限突出させた状態で、ステアリングラック8の先端に固定した受け部材49を負荷シリンダ50によりロードセル51を介して押し、ステアリングラック8に最大負荷が得られるまで曲げ荷重を負荷した。

15 ロードセル51に接続された動歪み計52の出力を荷重計53に導き、荷重を測定した。その結果、最大負荷荷重は、実施例が8.6KNであり、比較例は7.4KNであった。これにより、実施例は比較例として比較して約16%増の曲げ強度を持つことが確認された。また、双方とも、破断することなく「曲がる」ことが確認された。

20 正入力耐久試験

図9に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端をそれぞれ固定支柱54に固定した。ステアリングラック8の両端にそれぞれサーボアクチュエータ55を連結した。ピニオン軸7にジョイント56およびトルクメータ57を介
25 してロータリーアクチュエータ58を接続し、該ロータリーアクチュエータ58によりピニオン軸7に駆動トルクを与える。駆動トルクは50N・mとし、周波数0.1~0.2Hzにて繰り返し回数を3万回とした。

試験終了後、ピニオンへの噛み合い部分の摩耗量を測定したところ、実施例が平均

8. $7\mu\text{m}$ であるのに対して、比較例が平均 $27.8\mu\text{m}$ であり、実施例は比較例よりも約70%摩耗量が減少することが実証された。

逆入力耐久試験

- 5 図10に示すような試験装置を用いた。実施例のステアリングラック8ないし比較例のステアリングラックをハウジング17に組み込み、ハウジング17の両端をそれぞれ固定支柱59に固定した。ピニオン軸7をジョイント60を介して中立位置に固定し、ピニオン軸7に近い側のステアリングラック8の端部に連なるタイロッド9を介して、サーボアクチュエータ61からのステアリングラック8に軸力を負荷した。
- 10 ステアリングラック8に負荷される軸力を9.8kNとし、周波数5Hzにて破損に至るまで実施した。その結果、比較例は35万回で破損に至ったのに対して、実施例は70万回にても破損に至らなかった。

曲げ疲労試験

- 15 実施例と同様の素材にて図11Aに示す試験片62を作成した。試験片62は、全長Lが90mmのほぼ丸型の軸である。試験片62の一端62aから距離Nが40mmの位置を中心として、くびれ部65をR5の断面湾曲を持って形成する。くびれ部65の最小直径Rは8mmである。くびれ部65を挟んで一端62a側が直径Pが12mmである円柱部63となっている。また、くびれ部65を挟んで他端62b側が
- 20 他端62b側にいくに従って次第に拡張する1/20テーパのテーパ部64となっている。テーパ部64の最大直径Qは14mmである。比較例についても同様の比較片を作成した。

- 試験片62ないし比較片の曲げ疲労試験を、図11Bに示す試験装置を用いて実施した。試験片62の一端62aから距離Mが50mmまでの部分を片持ち状に突出させる状態にて、残りのテーパ部64を固定支柱66のテーパ状の支持孔67に固定した。固定された試験片62の一端62a付近に転動ローラ68を介して負荷シリンダ69によって周波数20Hzで曲げ荷重を繰り返し負荷し、応力と繰り返し回数を測定して、S-N曲線を求めた。
- 25

試験の結果、S-N曲線の平滑化部分（応力が収束する部分）において、比較片の応力が1270MPaであるのに対して、試験片62の応力が1450MPaであり、疲労強度が約15%向上することが実証された。

請求の範囲

1. C : 0.50~0.60質量%、Si : 0.05~0.5質量%、Mn : 0.2~1.5質量%、B : 0.0005~0.003質量%、Ti : 0.005~0.05質量%、Al : 0.0005~0.1質量%、及びN : 0.002~0.02質量%
5 を含有し、

棒鋼の直径をDとして、棒鋼の表面から深さD/4の部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記 I)、II) 及び III) の条件を満たすように調整されているステアリングラック用棒鋼。

- I) 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が3
10 0~100%である。

II) 再生パーライト組織の面積百分率が0~50%である。

III) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計の面積百分率が50~100%である。

2. 請求の範囲第1項に記載のステアリングラック用棒鋼において、1.5質量%以下
15 (0質量%を含まず) のCrを含有する。

3. 請求の範囲第1項に記載のステアリングラック用棒鋼において、

- さらにS : 0.06質量%以下 (0質量%を含まない)、Pb : 0.3質量%以下
(0質量%を含まない)、Bi : 0.2質量%以下 (0質量%を含まない)、Te : 0.1質量%以下 (0質量%を含まない)、Mg : 0.01質量%以下 (0%を含まない)、
20 Ca : 0.01質量%以下 (0質量%を含まない)、希土類元素 : 0.01質量%以下 (0質量%を含まない)、Zr : 0.3質量%以下 (0質量%を含まない) から選択される少なくとも一種を含有するステアリングラック用棒鋼。

4. C : 0.50~0.60質量%、Si : 0.05~0.5質量%、Mn : 0.2~1.5質量%、B : 0.0005~0.003質量%、Ti : 0.005~0.05質量%、Al : 0.0005~0.1質量%、及びN : 0.002~0.02質量%
25 を含有する鋼片を圧延し、

圧延により得られた棒鋼を温度780℃以上から焼入れして、棒鋼の表面から深さD/4 (Dは棒鋼の直径を示す) の部分のベイナイト組織及びマルテンサイト組織の

合計を面積百分率で30～100%とした後、

温度660～720℃の雰囲気温度に加熱した炉に入れて20分以下の短時間焼戻し処理を行い、室温まで冷却することにより、上記棒鋼の表面から深さD/4の部分の再生パーライト組織を面積百分率で0～50%とすると共に、上記棒鋼の表面から深さD/4の部分の焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織及び再生パーライト組織の合計を面積百分率で50～100%とするステアリングラック用棒鋼の製造方法。5. 請求の範囲第4項に記載のステアリングラック用棒鋼の製造方法において、上記鋼片が1.5質量%以下(0質量%を含まず)のCrを含有する。

6. 請求の範囲第4項に記載のステアリングラック用棒鋼の製造方法において、
10 上記鋼片が、さらにS:0.06質量%以下(0質量%を含まない)、Pb:0.3質量%以下(0質量%を含まない)、Bi:0.2質量%以下(0質量%を含まない)、Te:0.1質量%以下(0質量%を含まない)、Mg:0.01質量%以下(0%を含まない)、Ca:0.01質量%以下(0質量%を含まない)、希土類元素:0.01質量%以下(0質量%を含まない)、Zr:0.3質量%以下(0質量%を含まない)から選択される少なくとも一種を含有する。

7. 請求の範囲第1項、第2項又は第3項に記載のステアリングラック用棒鋼を用いて形成されるステアリングラック。

8. 請求の範囲第7項に記載のステアリングラックにおいて、
本体と、上記本体の周面の一部に形成され複数のラック歯を含むラック歯形成部と
20 を備え、

少なくともラック歯形成部に高周波焼入れ処理及び焼き戻し処理が施された硬化層が設けられ、

上記ラック歯形成部の表面硬さがビッカース硬さで680～800HVである。

9. 請求の範囲第8項に記載のステアリングラックにおいて、
25 上記本体は、ラック歯形成部と径方向に対向する部分と、上記ラック歯形成部と径方向に対向する部分の表面から深さ(3/4)D(Dは棒鋼の直径を示す)の部分とを含み、

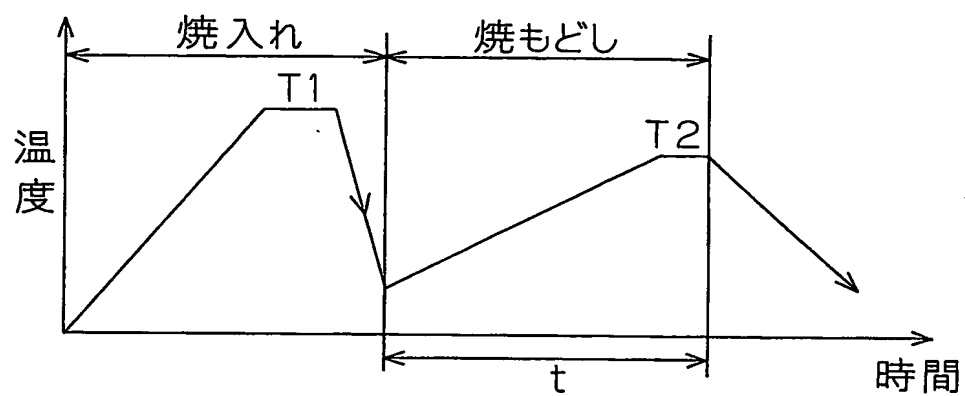
上記深さ(3/4)Dの部分の焼入れ・焼戻し組織が、下記I、II及びIII)の

条件を満たすように調整されている。

- I) 焼戻しベイナイト組織及び焼戻しマルテンサイト組織の合計の面積百分率が30～100%である。
- II) 再生パーライト組織の面積百分率が0～50%である。
- 5 III) 焼戻しベイナイト組織、焼戻しマルテンサイト組織、及び再生パーライト組織の合計の面積百分率が50～100%である。
- 10 10. 請求の範囲第8項に記載のステアリングラックにおいて、
上記ラック歯形成部は歯底部を含み、
上記歯底部における有効硬化層深さが歯底部の表面から0.1～1.5mmである。
- 10 11. 請求の範囲第8項に記載のステアリングラックにおいて、
上記ラック歯形成部は歯底部を含み、
上記歯底部における有効硬化層深さが歯底部の表面から0.3～1.2mmである。
- 12. 請求の範囲第8項に記載のステアリングラックにおいて、
上記ラック歯形成部は歯底部を含み、
- 15 上記歯底部の表面から0.1mmの深さまでの領域に残留フェライトが含まれない。

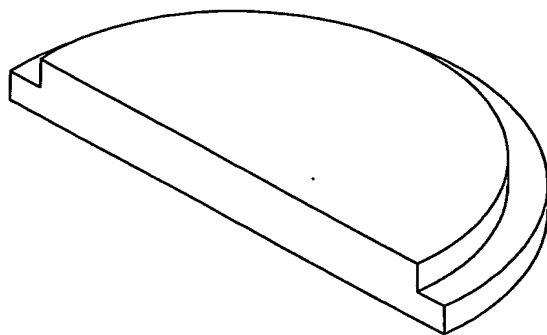
1/8

図 1



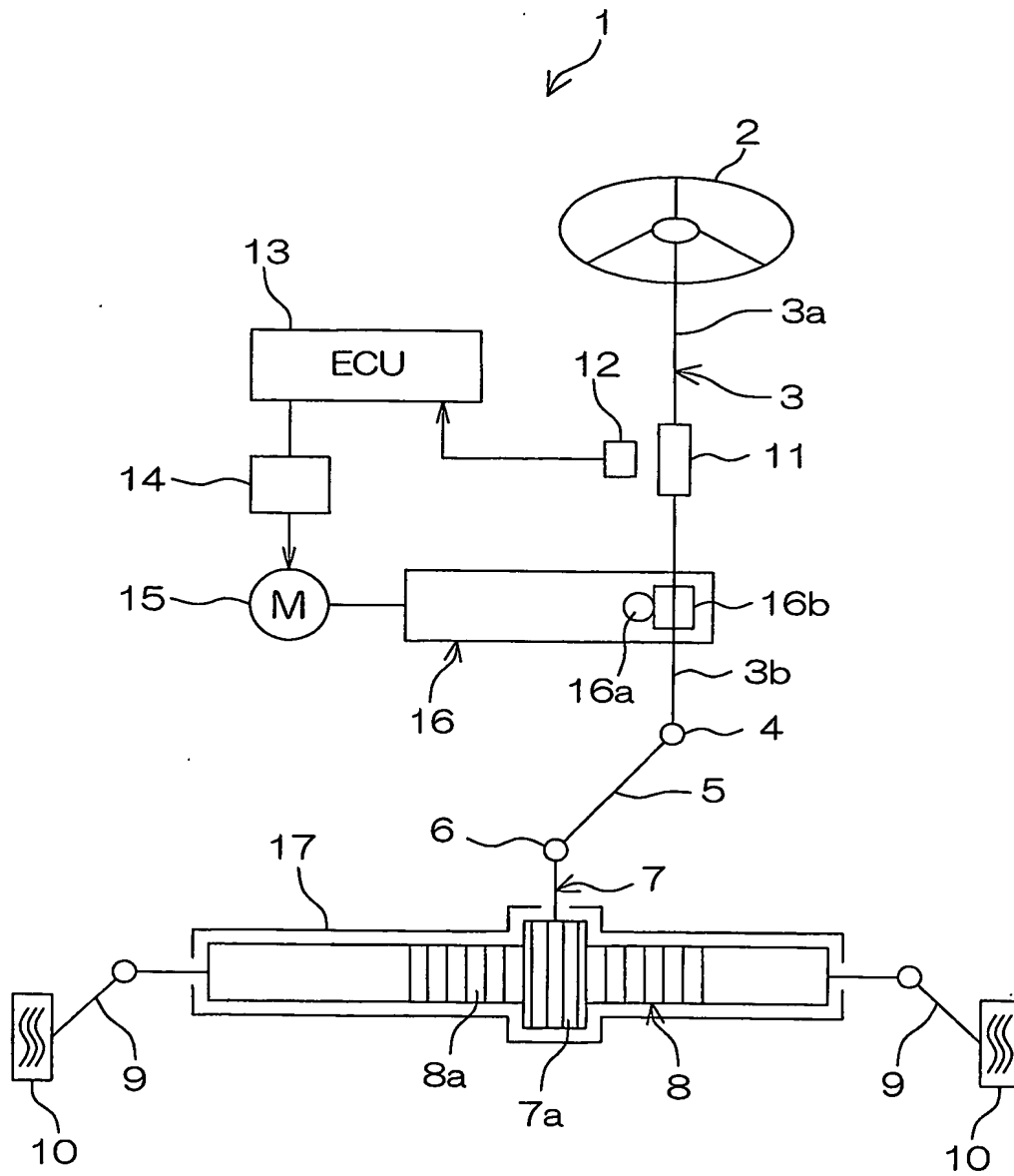
2/8

図 2



3/8

図 3



4/8

图 4A

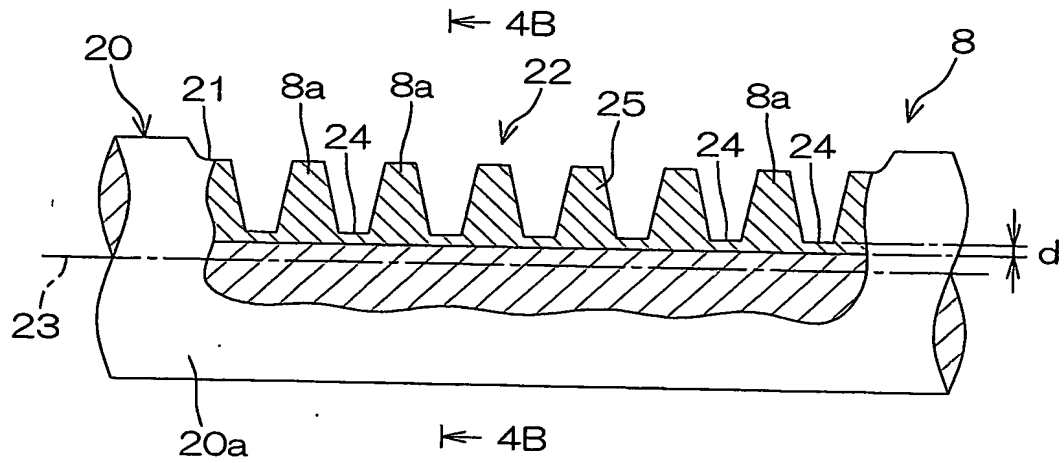
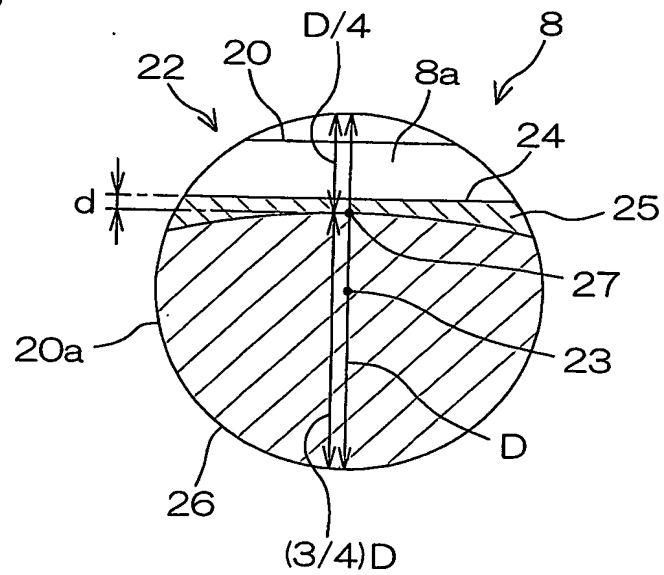


図 4B



5/8

図 5

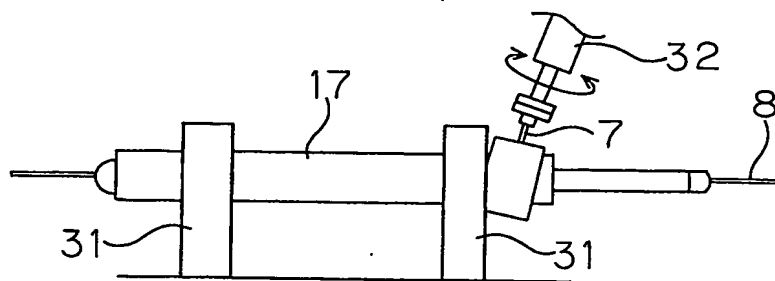
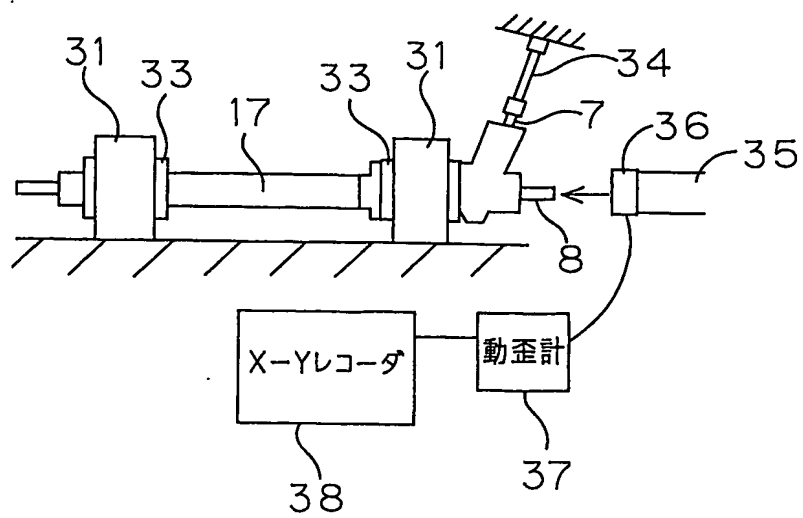


図 6



6/8

図 7

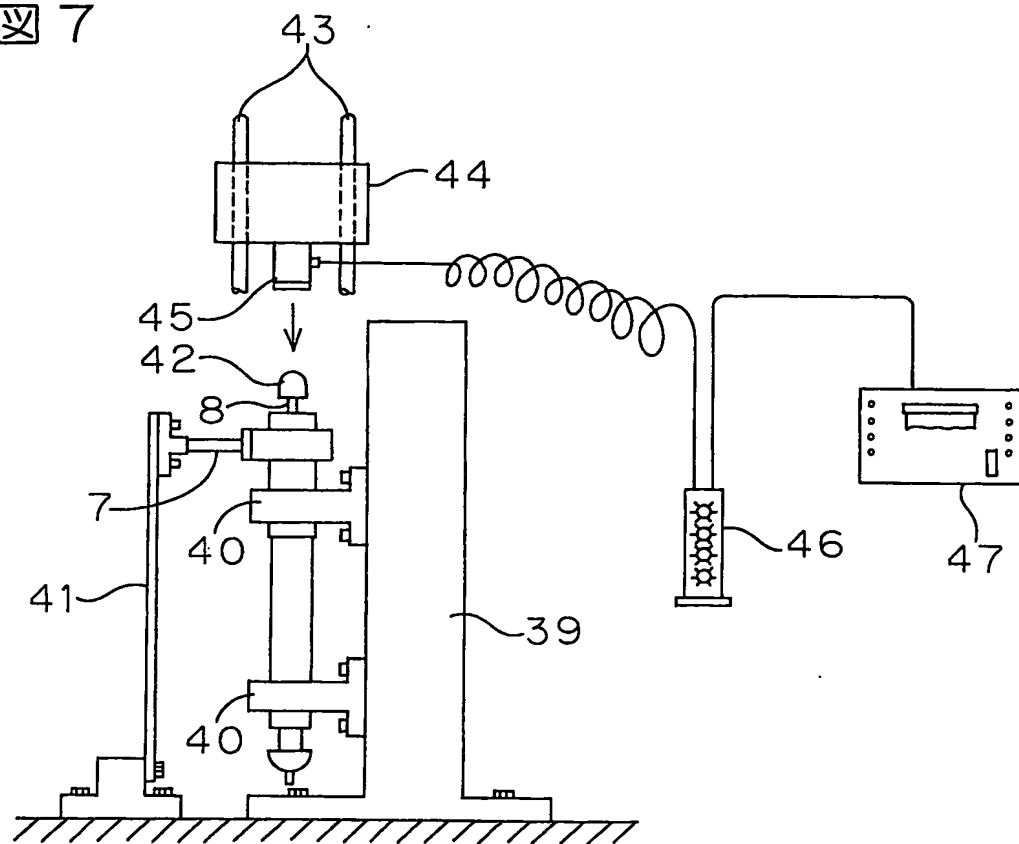
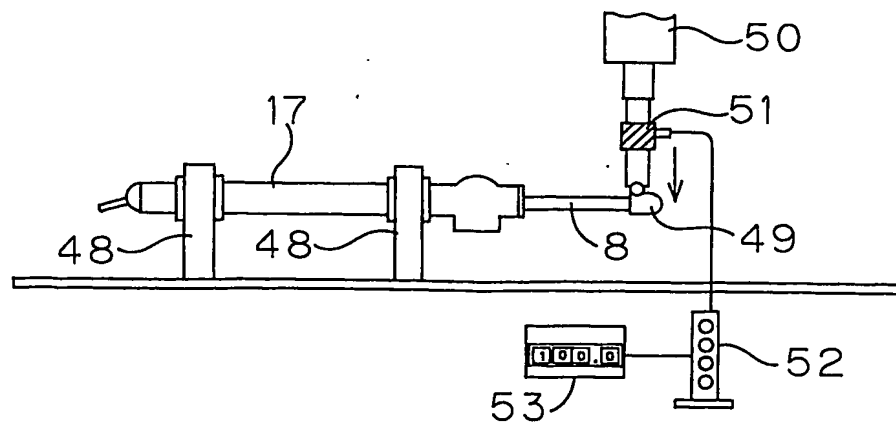


図 8



7/8

図 9

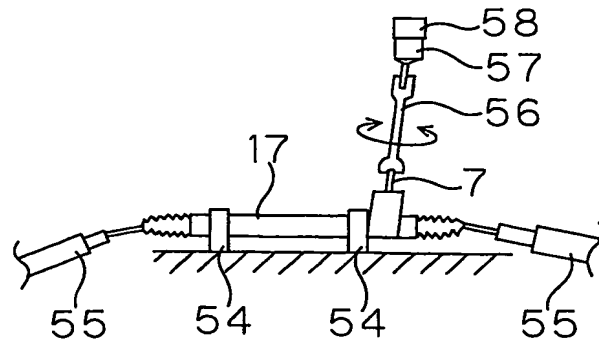
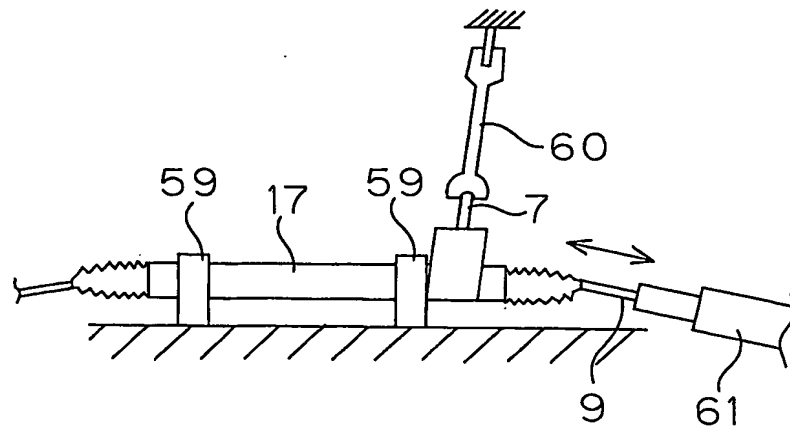


図 10



8/8

图 11A

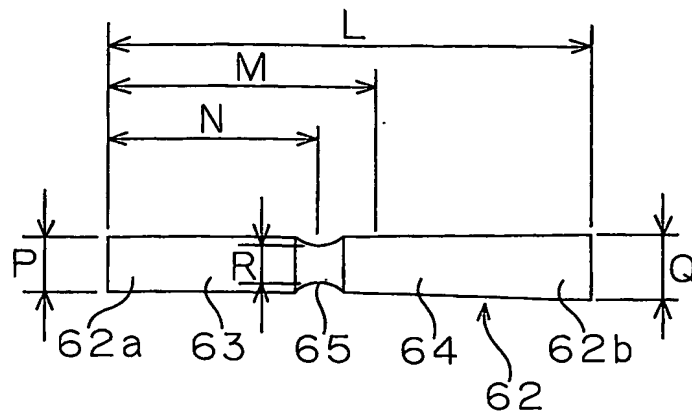
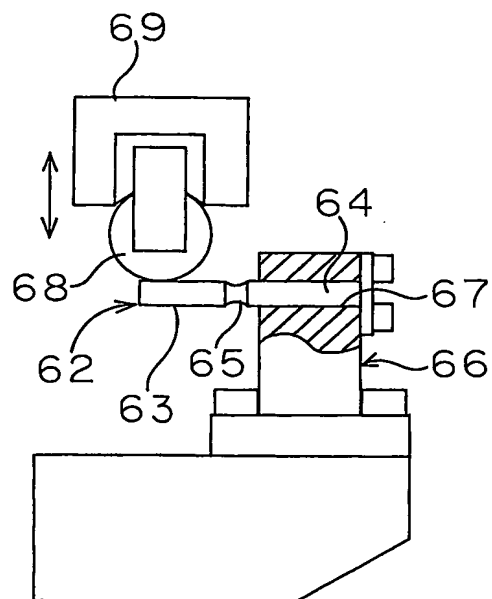


図 11B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/007678.

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ C22C38/00, C22C38/14, C22C38/60, C21D9/32, B62D3/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C22C38/00, C22C38/14, C22C38/60, C21D9/32, B62D3/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, A	JP 2003-166036 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 13 June, 2003 (13.06.03), Full text (Family: none)	1-12
A	JP 10-8189 A (Daido Steel Co., Ltd.), 13 January, 1998 (13.01.98), Full text (Family: none)	1-12
A	JP 9-25541 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 28 January, 1997 (28.01.97), Full text (Family: none)	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 August, 2004 (31.08.04)

Date of mailing of the international search report
14 September, 2004 (14.09.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ C22C38/00, C22C38/14, C22C38/60, C21D9/32, B62D3/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ C22C38/00, C22C38/14, C22C38/60, C21D9/32, B62D3/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
E, A	JP 2003-166036 A (光洋精工株式会社) 2003. 06. 13, 全文 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 10-8189 A (大同特殊鋼株式会社) 1998. 01. 13, 全文 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 9-25541 A (住友金属工業株式会社) 1997. 01. 28, 全文 (ファミリーなし)	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31. 08. 2004

国際調査報告の発送日

14. 9. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

鈴木・正紀

4K

3237

電話番号 03-3581-1101 内線 3435